VIKIPEEDIA

Universum

See artikkel räägib kosmoloogilisest universumimõistestest; universumimõiste kohta matemaatikas ja loogikas vaata artiklit Universum (matemaatika); ajakirja kohta vaata artiklit Universum (ajakiri).

Universum ehk **maailmakõiksus** hõlmab kogu aegruumi ja selles olevat[1]. Universum koosneb planeetidest, tähtedest, galaktikatest, galaktikate vahelisest hõredast ainest, tühikutest, elementaarosakestest, mateeriast ja energiast. Vaadeldava universumi läbimõõduks on hinnatud 28 miljardit parsekit (umbes 93 miljardit valgusaastat)[2]. Võrdlusena võib tuua meie kohaliku galaktika, Linnutee galaktika, mille läbimõõt on 30 tuhat parsekit ehk umbes 100 tuhat valgusaastat ja Päikesesüsteemi kuuluva Pluuto orbiidi läbimõõt on üks tuhandik valgusaastat[1]. Kogu universumi suurus ei ole teada ning see võib olla lõpmatu.



Hubble'i teleskoobi süvavälja (HUDF) foto kaugetest galaktikatest

Universum on kosmoloogia teadusharu uurimisobjektiks[1]. Kosmoloogid uurivad universumi ehitust ja arengut selle tekkest alates kuni tänapäevani ja püüavad ennustada universumi tulevikku. Tänapäeva kosmoloogia tugineb simulatsioonidel ja arvutimudelitel, mis töötavad üldrelatiivsusteooria võrrandite järgi[3], kuid universumi täielikuks kirjeldamiseks on vaja üldrelatiivsusteooria kvantfüüsikaga ühendada, mida pole veel seni suudetud teha ja seetõttu tuleb praeguseid tulemusi võtta kui esialgseid lähendeid. Tänapäeval on suur osa kosmoloogidest ühel meelel, et kõige paremini kirjeldab meie universumit Suure paugu mudel (täpsemalt ΛCDM-mudel), mille järgi on universumil selgelt määratletav algus, millele järgnes väga kiire paisumine ehk inflatsioon. Selle mudeli ja praegu teadaolevate kosmoloogiliste parameetrite järgi on universumi vanuseks 13,799 ± 0,021 miljardit (10^9) aastat.

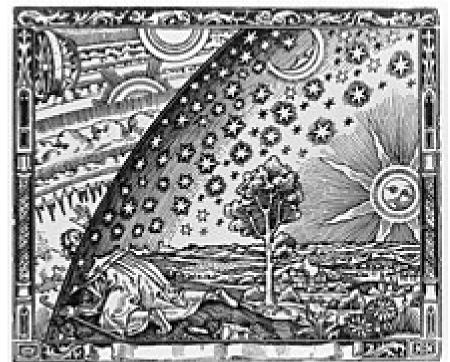


Linnutee galaktika

Vaatluste põhjal saab öelda, et kaks ruumipunkti, mis asuvad eri kohtades, kaugenevad üksteisest ehk tegemist on paisuva universumiga. Nendes vaatlustes mängib tähtsat rolli punanihe ja Doppleri efekt. See on kooskõlas üldrelatiivsusteooriaga, mille kohaselt ei saa Universum olla staatiline ehk see peab kas paisuma või kokku tõmbuma. Kuigi vaatlusandmete ja teooria vahel on mitmeid lahkhelisid, on nende põhjal esitatud hüpoteesid tumeaine ja tumeenergia kohta. Esimene neist on mateeria liik, mida otseselt vaadelda ei saa, aga mille mõju on kaudselt näha, näiteks on tumeaine ehk varjatud aine mõju selgelt näha galaktikate pöörlemiskõverates.[3]

Sisukord

Universumi uurimise ajalugu


Flammarioni gravüür, Pariis 1888

Universumi teket ja arengut on püütud kirjeldada juba tuhandeid aastaid tagasi näiteks Antiik-Kreeka ja Skandinaavia mütoloogias. Juba siis osati tähevaatluste põhjal mitmesuguseid järeldusi teha. Esimesed suuremad läbimurded kosmose mõistmisel tulid uusajal, kui õpiti matemaatiliselt kirjeldama planeetide liikumist ja konstrueeriti esimesed teleskoobid, mille abil saadi paremat infot ümbritseva kohta. Veel enne teleskoopide leiutamist alustas Tycho Brahe, keda peetakse esimeseks tõeliseks vaatlusliku astronoomiaga tegelejaks, esimeste süstemaatiliste taevavaatlustega. Ta koostas ulatusliku kataloogi oma vaatlustest, kuhu kuulus ka 1572. aasta supernoova vaatlus (SN 1572), mille kohta Brahe avaldas raamatu "De nova stella", kust tuleb ka ekslik nimetus noova, mis otsetõlkes tähendab *uut*, aga tegelikult on noova just tähe elu lõppfaas.[4][5]

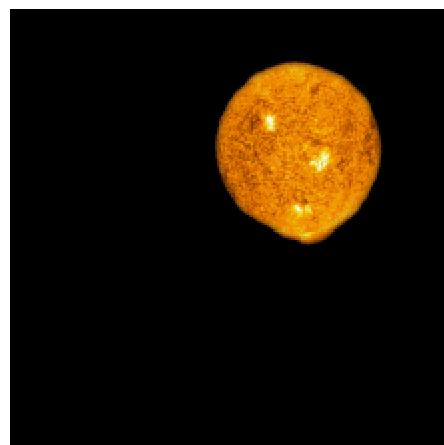
16. sajandi lõpus väitis Giordano Bruno, et universum on homogeenne ja isotroopne. Tänapäeval tuntakse neid omadusi kosmoloogilise printsiibi nime all. Lisaks toetas Bruno sel ajal vastandlikku arvamust, et nii maapealne kui ka taevane materjal on sama. Need väited koos igavese ja lõpmatu universumi väitega moodustavad niinimetatud LIHIM (lõputu, igavene, homogeenne, isotroopne ja materiaalselt ühtlane) universumi mudeli, mida peeti õigeks kuni selle ajani, kui sadakond aastat tagasi toimusid kosmoloogias uued läbimurded.[3]

Järgmine suurem edasiminek toimus 20. sajandil. Teooria poolelt avaldas Albert Einstein üldrelatiivsusteooria, mis sobis hästi kokku seniste tulemustega. Ka oli läbimurdeid vaatluslikus kosmoloogias. 1929. aastal avaldas Edwin Hubble oma mõõtmised galaktikate punanihete kohta ja võrdles neid galaktikate kaugustega, tõestades, et universum paisub. Universumi paisumine tähendab seda, et minnes piisavalt palju ajas tagasi, siis mingil hetkel asuvad kõik objektid ühes punktis ehk universum ei saa olla igavene. Arno Allan Penzias ja Robert Woodrow Wilson avastasid 1964. aastal kosmilise reliktkiirguse, mis andis infot selle kohta, et universum on tõesti homogeenne. Mõõdetud kiirguse energia järgi leiti universumi kui musta keha temperatuur, milleks on 2,7 K. 20. sajandi lõpul on Hubble'i kosmoseteleskoop oluliselt avardanud inimeste silmaringi universumi kohta. Lisaks on see täpsustanud ka Edwin Hubble'i mõõtmisi.

Tänapäeval on palju teleskoope nii Maa peal kui ka kosmoses, mis koguvad infot universumi kohta üle kogu elektromagnetlainete spektri, alustades raadiolainetest ning lõpetades gammakiirgusega. Vaatlusandmetega on võimalik kinnitada või ümber lükata teooriaid ja mudeleid, mida teoreetikud on esitanud.

Kosmoloogilised paradoksid

Pimeda öötaeva paradoks


Illustratsioon pimeda öötaeva paradoksist

Fotomeetriast on teada, et valgusallika pindheledus ei sõltu valgusallika kaugusest, sest liigutades valgusallikat kaugemale, väheneb selle koguheledus liigutatud kauguse ruudu võrra, aga samuti väheneb ka selle valgusallika pindala kauguse ruudu võrra ehk pindheledus jääb konstantseks. Sama kehtib ka tähtede puhul, sest ei tehtud mingeid eeldusi valgusallika kohta. Suurendades raadiust, väheneb tähtede näiv heledus võrdeliselt raadiuse ruuduga, aga tähtede arv selles ruumalas suureneb võrdeliselt raadiuse kuubiga ehk näiv koguheledus suureneb võrdeliselt raadiusega. Näiteks kui raadiust suurendada kaks korda, siis suureneb tähtede näiv koguheledus kaks korda. Kui raadiust lõpmatuseni niimoodi kahekordistada, siis peaks tähed katma kogu taevalaotuse, kuid ometigi see nii ei ole. Kunagine Tartu Tähetorni direktor Johann Heinrich von Mädler pakkus välja, et see valgus neeldub tähtedevahelises keskkonnas, kuid mõistes, et see, mis neelab valgust, kuumeneb ja hakkab ka ise kiirgama, võttis ta omaks tänapäevasema vaate, et "Valguse kiirus on lõplik; lõplik on ka aeg, mis on möödunud loomisest meie päevini ja järelikult me näeme üksnes objekte, mille kaugus on selline, et valgus on jõudnud meieni selle lõpliku aja jooksul."[3]

Universumi soojussurm

Selleks, et universumis midagi huvipakkuvat toimuks, on vaja temperatuuride vahet. Näiteks elu Maa peal on võimalik tänu sellele, et meil on kuum Päike, külm maailmaruum ja töötav keha Maa. Kui temperatuur muutuks igal pool ühtlaseks, saabuks universumi soojussurm. Termodünaamika järgi läheb energia alati soojemalt kehalt külmemale ehk soojemad kehad jahtuvad ja külmemad soojenevad, kuni tekib tasakaal. Igaviku jooksul ühtlustuvad kõik temperatuurid. See tähendab, et igavese universumi korral peaks soojussurm olema juba saabunud, aga nii see ei ole. Kui eeldada, et universum paisub, siis see paradoks kaob, sest pidev paisumine jahutab ja tasakaalu ei teki.[3]

Gravitatsiooniline paradoks

Kui vaadelda objekti, mis asub väljaspool homogeenset sfääri, siis gravitatsioonilise vastastikmõju leidmisel võib kera asendada punktmassiga, mis asub sfääri keskpunktis ja mille mass on võrdne kera massiga. Vaadeldes objekti, mis asub homogeense sfääri sees, nähtub, et seinte gravitatsioonijõud tasakaalustavad üksteist ja summaarne mõju on null igas sfääri sisepunktis.

Kui suurtel skaaladel (vähemalt 300 Mpc, kosmoloogiline printsiip[6]) jagada universum mõtteliselt sellisteks sfäärideks, mille ühine keskpunkt oleks Maa, siis ei mõjutaks Maad ükski sfäär. Kui aga sarnase universumi jaotuse järgi jääks planeet Maa ühest sellisest mõttelisest sfäärist välja ja teiste sisse, siis see üks mõjutaks Maad gravitatsiooniliselt ja teised mitte. Niimoodi on võimalik ette kujutada kõikvõimalikke konfiguratsioone ja seega ei ole võimalik määrata gravitatsioonijõu suurust ega suunda, millega universum meid mõjutab. Paradoksi aitab lahendada üldrelatiivsusteooria, mille võrrandid annavad ühese lahenduse selle kohta, millised jõud objektide vahel mõjuvad ja seega määramatust ei teki. Põhimõtteliselt on need võimalik välja arvutada, aga praktiliselt ei ole see teostatav.[3]

Uuemad paradoksid

Relatiivsusteooria lahendas ära kolm põhilist paradoksi, kuid tekitas juurde ka uusi. Näiteks alghetke paradoks (Mis on alghetk?), laenguparadoks (Miks ei ole aine ja antiaine kogused universumis võrreldavad? Miks ei ole sümmeetriat?) ja horisondi paradoks (kauged universumi piirkonnad näevad välja nii, nagu oleks nende vahel mingil ajahetkel olnud vastastikmõju, aga valguse kiirus ja maailma vanus seda ei luba). Uuemates universumite mudelites on ka need probleemid lahendatud.[3]

Universumi tulevik

Universumi tuleviku uurimine on võimalik kosmoloogia võrrandite kaudu, mille erinevad lahendid annavad erinevad võimalikud tulevikud. Võrrandite lahendid sõltuvad "algtingimustest", milleks on näiteks aine keskmine tihedus universumis, universumi paisumiskiirus ning massi-energia füüsikalised omadused. Need teadmised tulevad peamiselt vaatlusandmetest.[7] Keerulisemate järelduste tegemisel kombineerib füüsikaline kosmoloogia üldrelatiivsusteooriat kvantväljateooria, tuuma- ja aatomfüüsika, vedelike mehaanika ja astrofüüsikaga.[8]

1931. aastal ilmusid Edwin Hubble'i vaatlusandmed, et galaktikad kaugenevad üksteisest. Nendest tulenevalt tekkis "Suure Paugu" teooria, mille kohaselt universum sai alguse 13,8 miljardit aastat tagasi ning paisub tänaseni.[9] Kosmoloogia võrrandite ennustatud kosmiline mikrolaine-taustkiirgus sai kinnituse 1964. aastal.[10]

Praegu on teadlaste seas levinuim arvamus, et universumi paisumine kestab igavesti. [11] Tumeaine ja tumeenergia, selle kogus ja tihedus, võib mõjutada suuresti meie tulemusi universumi tuleviku kohta, näiteks võimaldab lõpmatult paisuvat universumit mudelites, mis algselt seda ei järelda.[12]

Teaduslik alus

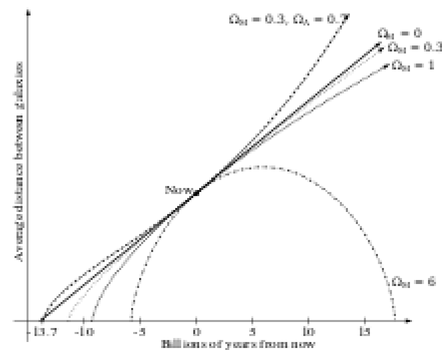
Kosmoloogiline konstant

Einsteini üldrelatiivsusteooria võrrandite lahendid võimaldasid hetkel paisuvat universumit ja tulevikus kokku tõmbuvat universumit. Avalikustamise ajal oli veel üldarvamus, et universum on staatiline. Einstein lisas võrranditesse kosmoloogilise konstandi – energiatiheduse, mida ei mõjutaks paisumine ega kokku tõmbumine, mis tasakaalustaks gravitatsiooni mõju universumile. Hiljem, kui selgus, et universum paisub, nimetas Einstein kosmoloogilise konstandi veaks.[13]

Nüüdseks on teada, et 68% mass-energia tihedusest universumis on tumeenergia.[14] See käitub osaliselt sarnaselt antigravitatsiooniga, mistõttu võib kosmoloogilist konstanti nimetada tumeenergia lihtsaimaks vormiks.

Universumi kuju roll

Universumi kuju on seotud tihedusparameetriga Ω, mis on defineeritud kui aine keskmine tihedus universumis jagatuna selle tiheduse kriitilise väärtusega. Kui varem oli universumi kuju suure otsustava väärtusega universumi tulevikus, siis nüüd omab rolli ka tumeenergia kogus ning tumeenergia tiheduse käitumine paisuvas universumis.[11]



Universumi tulevik sõltuvalt aine tihedusest Ω_M ja tumeenergia tihedusest Ω_Λ

Kinnine universum

Tihedusparameetrile Ω > 1 vastab positiivse kõverusega universum, sarnaselt sfääri pinnaga. Selline mudel kujutab tulevikku, kus gravitatsioon peatab universumi paisumise kuni see hakkab tagasi kokku tõmbuma.[15] Tumeenergia olemasolu võimaldab aga lõpmatult paisuvat universumit isegi kinnise universumi puhul.[12]

Avatud universum

Tihedusparameetrile Ω<1 vastab negatiivse kõverusega universum, sarnaselt sadulaga. Selline mudel kujutab lõpmatult paisuvat universumit. Tumeenergia põhjustab kiirendusega paisumist.[15]

Lapik universum

Tihedusparameetrile Ω=1 vastab eukleidiline geomeetria. Selline mudel kirjeldab aeglustuvalt paisuvat universumi, kus paisumine lõpuks seiskuks. Tumeenergia lisamine mudelisse põhjustab kiirenevat paisumist.[15]

Vaatlusandmetest tuleneb, et universumi paisumine kiireneb, vastavalt Avatud Universumi teooriale.[16] WMAP vaatlusandmed on leidnud, et universum on peaaegu lapik, kõverusega alla |±0,005|.[17]

Universumi tuleviku teooriad

Suur Kollaps

Suur Kollaps on teooria, mille kohaselt universum tõmbub lõpuks kokku tagasi. See põhineb eeldusel, et aine keskmine tihedus universumis on piisavalt suur, et peatada paisumist ning gravitatsiooni mõjul alustada kokku tõmbumist. Aine koonduks väikeste mõõtmetega, kuid suure tihedusega alale. Sellise kollapsi lõpptulemust on raske ennustada, sest siin tuleb arvesse võtta teadmatuid kvantmehaanilisi mõjusid.

Kui aine koondub singulaarsusse, on võimalik uus Suur Pauk kohe pärast Suurt Kollapsit. Siit pärineb universumi tsükliline mudel, mille kohaselt iga Suur Pauk tuleneb eelmise universumi Suurest Kollapsist. Selline mudel on aga vastamisi termodünaamika teise seadusega, mis lubab entroopial vaid kasvada. See tähendab, et lõpuks entroopia kasv ei võimaldaks universumil kokku tõmbuda.[18]

Kuna Suur Kollaps eeldab kinnist universumit, mis ei klapi praeguste vaatlusandmetega, lisaks eelmainitud vastuolule, ei ole see teooria väga levinud. Samas on hiljuti välja käidud uus tsüklilise mudeli versioon, mis lahendab entroopia probleemi *brane* paisumisega.[19]

Suur Külmumine

Suur Külmumine on teooria, et universumi paisudes toimub liikumine termodünaamilise tasakaalu poole ehk universumi temperatuur läheneb igal pool absoluutsele nullile. Tähtede tekkeks vajalik gaasivaru lõppeb ning olemasolevad tähed ajapikku surevad. Tuleb periood, kus universum on täitunud mustade aukudega, mis samuti lõpuks kaovad.[20] Aine jaotub ühtlaselt universumis ja entroopia on maksimaalne.[21]

Kuna selle teooria eeldused ja omadused klapivad praeguste vaatlusandmetega, siis see on praegu teadlaste seas levinud.[11]

Suur rebenemine

Suure rebenemise teooria, mille kohaselt eksisteerib hüpoteetiline tumeenergia vorm, mille tihedus ajaga kasvab, põhjustades universumi veel kiiremat paisumist. Tulemusena kõik aine universumis rebeneb elementaarosakesteks ning paiskub laiali.[22]

Valevaakumi kollaps

Vaakumolek on madalaima energiaga olek. Tõeliseks vaakumiks nimetatakse globaalses miinimumis asuvat energiat ning see olek on stabiilne. Lokaalses miinimumis energiat nimetatakse valevaakumiks, sest tegemist pole kõige madalama energiaolekuga. Valevaakum on ebastabiilne olek, sest võib tekkida kvanttunneleerumine madalamasse energiatasemesse ehk tõelisse vaakumisse.[23]

Osakestefüüsika standardmudeli kohaselt kvantväljad (täpsemalt Higgsi väli) määravad meile teadaolevate osakeste ja fundamentaalsete interaktsioonide füüsikalised omadused. Kui kvantväljad asuvad valevaakumis ehk ebastabiilses olekus, võib toimuda tunneleerumine madalamasse energiaolekusse. Selle tulemusena võib muutuda universumi füüsikaline olemus. Higgsi bosoni sarnase osakese uurimine viitab sellisele tulevikule miljardite aastate pärast.[24]

Kosmoloogiline ebakindlus

Tumeenergia olek mõjutab universumi tulevikku. Vastavalt paisumise teooriale, oli tumeenergia varem keerulisemas olekus võrreldes tänapäevaga. On võimalik, et selle olek muutub taas, mõjutades universumi tulevikku teadmatul viisil.[25]

Vaata ka

- multiversum
- metagalaktika
- tegelikkus

Viited

1. Heino Eelsalu. *Astronoomialeksikon*, Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus, 1996.

2. Itzhak Bars, John Terning. *Extra Dimensions in Space and Time* (http://books.google.com/books?id=fFSMatekilIC&pg=PA27), Springer, 2009. Kasutatud 08.11.2015.
3. Rein Veskimäe. *Universum*, Tallinn: Tallinna Raamatutrükikod, 1997.
4. Steven Weinberg. *Esimesed kolm minutit*, Tallinn: Valgus, 1988.
5. Prof. James Schombert. "Astronomy 123: Newtonian Cosmology" (http://abyss.uoregon.edu/~js/ast123/lectures/lec03.html). 2015. Vaadatud 09.11.2015. Inglise keel.
6. Chris Impey. "The Cosmological Principle" (http://m.teachastronomy.com/astropedia/article/The-Cosmological-Principle). Vaadatud 09.11.2015. Inglise keel.
7. NASA/WMAP Science Team, WMAP Mission Overview (https://map.gsfc.nasa.gov/mission/) (Uuendatud: 12. mai 2016). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
8. Cosmology at Caltech (https://web.archive.org/web/20051223150316/http://www.pma.caltech.edu/Courses/ph136/yr2002/chap27/0227.1.pdf) (2003). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
9. NASA/WMAP Science Team, Cosmology: The Study of the Universe (https://map.gsfc.nasa.gov/universe/) (Uuendatud: 21. detsember 2012). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
10. NASA/WMAP Science Team, Tests of Big Bang: The CMB (https://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_tests_cmb.html) (Uuendatud: 9. mai 2016). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
11. NASA/WMAP Science Team, Will the Universe expand forever? (https://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_shape.html) (Uuendatud: 24. jaanuar 2014). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
12. Ryden, Barbara, *Introduction to Cosmology* (The Ohio State University), lk. 56.
13. C. O'Raifeartaigh, B.McCann, Einstein's cosmic model of 1931 revisited: an analysis and translation of a forgotten model of the universe (https://arxiv.org/abs/1312.2192) (2014). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
14. N. T. Redd, What is Dark Energy? (https://www.space.com/20929-dark-energy.html) (2013). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
15. N. T. Redd, What is the Shape of the Universe? (https://www.space.com/24309-shape-of-the-universe.html) (2014). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
16. Dark Energy, Dark Matter (https://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-is-dark-energy/). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
17. Planck Collaboration, Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters (https://arxiv.org/abs/1502.01589) (2015, uuendatud 2016). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
18. R. C. Tolman, *Relativity, Thermodynamics, and Cosmology* (The Oxford University Press, 1934).
19. J. L. Lehners, P. J. Steinhardt, N. Turok, The Return of the Phoenix Universe (https://arxiv.org/abs/0910.0834v1) (2009). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
20. F. C. Adams, G. Laughlin, A Dying Universe: The Long Term Fate and Evolution of Astrophysical Objects (https://arxiv.org/abs/astro-ph/9701131) (1997). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
21. A. V. Yurov, A. V. Astashenok, P. F. González-Díaz, Astronomical bounds on a future Big Freeze singularity (https://link.springer.com/article/10.1134%2FS0202289308030018) (2008), *Gravitation and Cosmology v. 14*, lk. 205–212. Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
22. R. R. Caldwell, M. Kamionkowski, N. N. Weinberg, Phantom Energy and Cosmic Doomsday (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0302506) (2003). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
23. A. Kusenko, Viewpoint: Are We on the Brink of the Higgs Abyss? (https://physics.aps.org/articles/v8/108), Physics 8, 108 (2015). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
24. A. Boyle, Will our universe end in a 'big slurp'? Higgs-like particle suggests it might (http://cosmiclog.nbcnews.com/_news/2013/02/18/17006552-will-our-universe-end-in-a-big-slurp-higgs-like-particle-suggests-it-might?lite) (2013). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.
25. A. Vikman, Can dark energy evolve to the Phantom? (https://arxiv.org/abs/astro-ph/0407107) (2004, uuendatud 2005). Viimati kasutatud: 14. detsember 2017.

Välislingid

- Kosmos, mis see on (http://www.eas.ee/kosmos/et/kosmosest/uldulevaade/kosmos-mis-see-on) Eesti Kosmosebüroo